

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКТОРОВ ПОПЕРЕЧНОЙ
КОМПЕНСАЦИИ НА ОГРАНИЧЕНИЕ ВНУТРЕННИХ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ДЛИННОЙ
НЕНАГРУЖЕННОЙ ЛИНИЕЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»**

по курсу «Перенапряжения в электроэнергетических системах»
для студентов направления подготовки «Энергетика, электротехника и
электромеханика», в том числе для иностранных студентов

Рекомендовано
редакционно- издательским
советом университета,
протокол № 2 от 17.05.2019г.

Харьков
НТУ «ХПИ»
2019

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование влияния реакторов поперечной компенсации на ограничение внутренних перенапряжений в электрической сети с длинной ненагруженной линией электропередачи» по курсу “Перенапряжения в электроэнергетических системах” для студентов направления подготовки «Энергетика, электротехника и электромеханика», в том числе для иностранных студентов / Сост. Нижевский В. И., Берёзка С. К., Нижевский И. В. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2019. – 20 с.

Составители: В.И. Нижевский,
С.К. Берёзка
И. В. Нижевский

Рецензент И.В. Хоменко

Кафедра передачи электрической энергии

ВСТУПЛЕНИЕ

Увеличение энергопотребления в разных секторах народного хозяйства требует использования для передачи электроэнергии линий сверхвысокого напряжения. На этих линиях электропередачи (ЛЭП) усиливаются некоторые физические процессы, отсутствующие на ЛЭП меньшего класса напряжения. Что требует изучения. Рассмотрению этих процессов и посвящена данная лабораторная работа.

Цель работы: на основании результатов расчетов ряда вариантов использования реактора (реакторов) произвести анализ и объяснить роль реакторов поперечной компенсации в ограничении перенапряжений квази-стационарного режима и обеспечении нормального функционирования защитных аппаратов (вентильных разрядников, ОПН).

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выполнение лабораторной работы студентами должно начинаться с проработки теоретических вопросов по литературе, предложенной в данных методических указаниях. Изучив материал, следует получить задание у руководителя и приступить к его выполнению. Для этого необходимо составить алгоритм и написать программу расчета. С помощью разработанной программы выполнить исследование и обобщить полученные результаты. Блок-схема алгоритма и программа расчета должны быть приложены к отчету.

2 ОБЩАЯ СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТОВ

Длинная линия — название расчетной модели линии передачи, длина которой превышает длину волны, распространяющейся в ней (либо сравнима с длиной волны), а поперечные размеры — расстояние между проводниками, образующими линию, значительно меньше длины волны. Для исследования перенапряжений в характерных точках такой линии используется схема замещения (рис. 2.1).

В нормальном режиме линия длиной $l = l_1 + l_2$ работает как межсистемная связь. В послеаварийном режиме система E_2 отделяется

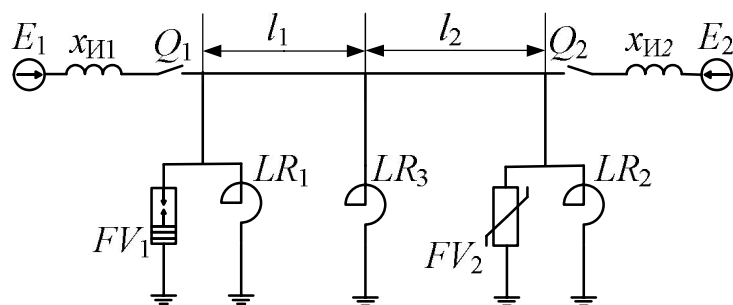


Рис. 2.1. Схема замещения

от линии l_2 , и ее включение на параллельную работу с системой E_1 вновь возможно только после выполнения синхронизации двух систем. Непосредственно после отделения системы E_2 от конца линии l_2 и после затухания коммутационного переходного процесса следует рассматривать линию $l_1 + l_2$ как разомкнутую в конце (Q_2) и с питанием от системы E_1 . Реакторы могут быть подключены или отключены на момент определения установившихся напряжений в точках по длине линии.

В задании для расчетов (п. 3.3) предложены варианты подключения реакторов к длинной линии. Расчеты по вариантам имеют целью определить:

а) не превышает ли в какой-либо точке линии заданный по выбору изоляции уровень напряжения (уровни напряжения приведены в табл. 2.1 и 2.2);

б) не превосходит ли напряжение в точке установки вентильного разрядника его нормального напряжения гашения (см. табл.2.1).

Таблица 2.1

Тип разрядника	U_r , кВ действ.
РВМК - 330 П	380
РВМК - 500 П	575
РВМК - 750 М	710

Вместо вентильных комбинированных разрядников (FV_1 на рис. 2.1) можно предусматривать включение ОПН (FV_2 на рис.2.1).

Допустимое на ОПН напряжение не должно превышать напряжений, указанных в табл.2.2.

В предлагаемых вариантах заданными являются длины участков линии, ее добротность, номинальное напряжение, волновое сопротивление линии и сопротивление источника. Мощность реактора может быть либо задана, либо подлежит определению по соотношениям ограничения напряжений.

Таблица 2.2

Тип ОПН	U_H , кВ	$U_{Ф.Н.РАБ}$, кВ	Напряжение, кВ _{ДЕЙСТВ} , допустимое в течение времени, с				
			1200	20	3,5	1,0	0,15
ОПН -110	110	73	88	95	100	105	112
ОПН -220	220	146	175	190	200	210	225
ОПН -330	330	210	250	270	290	305	325
ОПН -500	500	303	365	390	420	440	470
ОПН -750	750	455	545	590	635	660	705

3 ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

3.1. Рассчитать и построить зависимость напряжения в конце разомкнутой линии, присоединенной к источнику бесконечной мощности ($x_H = 0$), от ее длины $U(l)/E = f(l)$, приняв $Q = \omega L/r = 10$; $l = 0 \dots 2000$ км.

3.2. Для условий п.1 рассчитать и построить кривые $U(x)/U(0) = U(x)/E = f(x)$ распределения напряжения вдоль разомкнутой линии длиной l и $2l$.

3.3. Для разомкнутой линии длиной l , подключенной к источнику с сопротивлением $x_H = (0 \dots 1,0)Z_C$, рассчитать распределение напряжения вдоль линии при различных вариантах включения реакторов:

а) реактор в начале линии, $q_P = 0,9 (x_P = 1,11)$;

б) реактор в конце линии, $q_P = 0,9$;

в) реактор в середине линии, $q_P = 0,9$;

г) реакторы $q_P = 0,225$ в начале и в конце, реактор $q_P = 0,45$ в середине линии;

д) реакторы $q_p = 0,45$ в середине линии, $q_p = 0,225$ в конце линии;

е) реакторы $q_p = 0,225$ в начале линии, $q_p = 0,45$ в середине линии.

По полученным результатам построить кривые $U(x)/E = f(x)$ и $U(x)/U(0) = f(x)$.

3.4. Рассчитать и построить зависимость напряжения в начале и в конце разомкнутой линии длиной l от индуктивного сопротивления источника $x_{\text{и}} = (0 \dots 1,0)Z_{\text{с}}$. Построить кривые $U(0)/E = f(x_{\text{и}}/Z_{\text{с}})$ и $U(l)/E = f(x_{\text{и}}/Z_{\text{с}})$.

При выполнении работы по сокращенной программе число вариантов может быть уменьшено по указанию преподавателя.

4 ПРИМЕР РАСЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕАКТОРОВ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Реакторы, включенные в нескольких точках линии, частично компенсируют емкостный ток и тем самым ограничивают повышения напряжения промышленной частоты. Установленная мощность реакторов в длинной линии обеспечивает напряжения рабочего режима или режима синхронизации, который (непосредственно перед замыканием выключателя) представляет собой режим питания односторонне включенной разомкнутой линии. При этом напряжение в конце линии и в промежуточных точках должно быть близко к номинальному.

Рассмотрим ограничение перенапряжений реакторами на примере линии длиной 1000 км. Введем следующие обозначения: $x_p = \omega L_p$ – индуктивное сопротивление реакторов; $Q_p = U^2/x_p$ – мощность этих реакторов; $q_p = Q_p/P_{\text{НАТ}} = Z_{\text{с}}/x_p$ – та же мощность, но в относительных единицах, где $P_{\text{НАТ}}$ – натуральная мощность линии. Проанализируем влияние расположения реакторов на значения напряжения, считая, что линия присоединена к источнику ЭДС через индуктивное сопротивление $x_{\text{и}} = 0,5Z_{\text{с}}$.

Волновая длина линии 1000 км равна $\pi/3$, или 1,05 рад. Емкостная проводимость линии в относительных единицах

$$\frac{q\omega C'l}{\frac{1}{Z_c}} = \omega C' \sqrt{\frac{L'}{C'}} l = \beta l = 1,05.$$

Выберем проводимость реакторов q_p (равную в относительных единицах их мощности) равной емкостной проводимости линии, т. е. $q_p = 1,05$ или $x_p = Z_c/q_p = 0,95Z_c$.

Если все реакторы сосредоточены в одной точке линии, расчет может быть произведен по формулам, приведенным в [2], которые удобно представить в следующем виде (табл. 4.1):

Таблица 4.1

Расчетные формулы	Включение реактора		
	в начале линии	в середине линии	в конце линии
$K=U(l)/U(0)$	$1/\cos\beta l$	$\frac{1}{\cos\beta l \left(1 + \frac{q_p}{2} \operatorname{tg}\beta l\right)}$	$\frac{1}{\cos\beta l (1 + q_p \operatorname{tg}\beta l)}$
$Z_{\text{BX.P}}$	$-jZ_c \frac{\operatorname{ctg}\beta l}{1 - q_p \operatorname{ctg}\beta l}$	$-jZ_c \frac{\operatorname{ctg}\frac{\beta l}{2} + \frac{q_p}{2}}{1 - \frac{q_p}{2} \operatorname{ctg}\frac{\beta l}{2}}$	$-jZ_c \frac{\operatorname{ctg}\beta l + q_p}{1 - q_p \operatorname{ctg}\beta l}$

4.1 Реактор в начале линии

Входное сопротивление линии с реактором определяется по соответствующей формуле таблицы или путем параллельного сложения входного сопротивления линии без реактора ($Z_{\text{BX}} = -jx_{\text{BX}} = -jZ_c \operatorname{ctg} 60 = -j0,58$) с индуктивным сопротивлением реактора $jx_p = j0,95$

$$Z_{\text{BX.p}} = \frac{-jx_{\text{BX}} jx_p}{j(jx_{\text{BX}} - jx_p)} = -j1,49.$$

Напряжение в начале линии (здесь и далее $E = 1$)

$$U(0) = E \cdot Z_{\text{BX.P}} / (Z_{\text{BX.P}} + jx_{\text{и}}) = 1,5.$$

Реактор частично компенсирует емкостный ток и уменьшает ток через сопротивление источника. Однако он не влияет на распределение напряжения вдоль линии и коэффициент передачи K .

Напряжения в конце и в промежуточных точках линии

равны соответственно (рис. 4.1, кривая 1)

$$U(l) = U(0) / \cos(\beta l) = 3,0;$$

$$U(x) = U(l) \cos(\beta(l-x)).$$

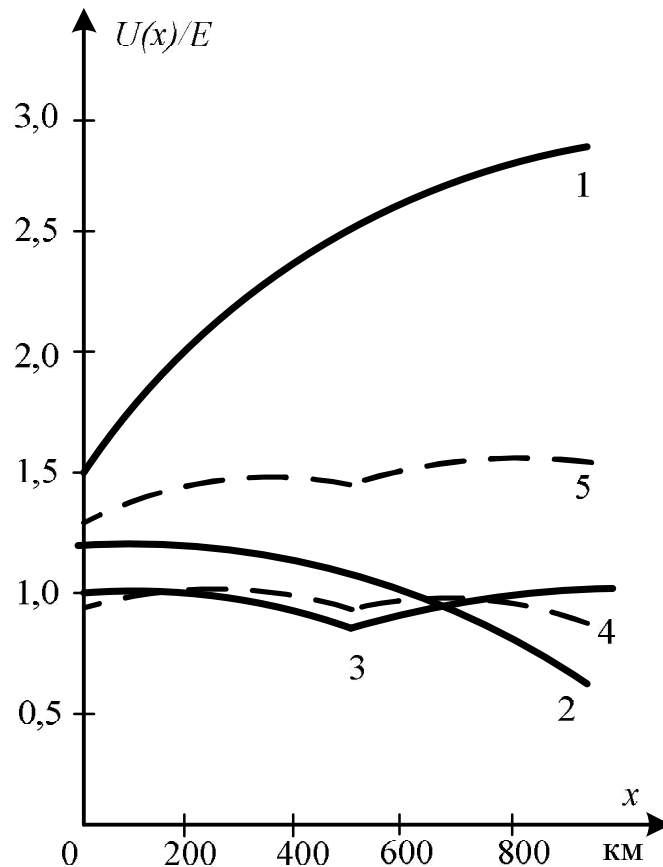


Рис. 4.1. Распределение напряжения вдоль линии $l = 1000$ км с реакторами

Из расчетов видно, что $U(0) > 1$, так как для полной компенсации емкостного тока в начале линии нужна мощность $q_p = \operatorname{tg} \beta l > \beta l$. Физический смысл этого условия означает, что сопротивление реактора x_p должно по абсолютному значению равняться входному сопротивлению линии:

$$x_p = Z_c \operatorname{ctg} \beta l;$$

$$q_p = Z_c / x_p = \operatorname{tg} \beta l = \operatorname{tg} (\pi/3) = 1,73.$$

Однако и при полной компенсации емкостного тока в начале линии ($Z_{\text{вх},p} = \infty$) напряжение в конце линии достигло бы $1/\cos \beta l = 2$.

Ясно, что ограничение напряжения реактором, включенным в начале линии, недостаточно эффективно, хотя без реактора мы имели бы напряжение в начале линии (без учета короны и активного сопротивления)

$$U(0) = \text{ctg}(\pi/3) / (\text{ctg}(\pi/3) - 0,5) = 7,25,$$

т. е. условия, близкие к резонансным.

4.2 Реактор в конце линии

В этом случае можно воспользоваться формулами таблицы, но можно использовать и более простой метод расчета – метод эквивалентных длин, т.е. реактор может быть заменен эквивалентной короткозамкнутой линией с длиной $l_{\text{Э}}$, являющейся продолжением реальной линии,

$$\beta l_{\text{Э}} = \arctg(x_p/Z_c) = \arctg(0,95) = 0,76 \text{ рад.}$$

Прибавляя эту эквивалентную волновую длину к волновой длине линии (рис. 4.2,а), получаем волновую длину фиктивной короткозамкнутой линии $\beta l + \beta l_{\text{Э}} = 1,81$ рад. Вычисляем входное сопротивление по формуле для короткозамкнутой линии и напряжение в начале линии

$$Z_{\text{вх.р}} = j \text{tg}(\beta l_{\text{Э}} + \beta l) = -j4,17;$$

$$U(0) = E \frac{-j4,17}{-4,17 + j0,5} = 1,14.$$

Достоинством метода является возможность легко найти распределение напряжения вдоль линии, в частности максимальное напряжение и напряжение в конце линии, учитывая соотношения:

$$U(0) = I_K Z_c \sin(\beta l + \beta l_{\text{Э}});$$

$$U(x) = I_K Z_c \sin(\beta(l - x) + \beta l_{\text{Э}}).$$

Поэтому

$$U(x) = U(0) \frac{\sin[\beta(l - x) + \beta l_{\text{Э}}]}{\sin(\beta l + \beta l_{\text{Э}})}.$$

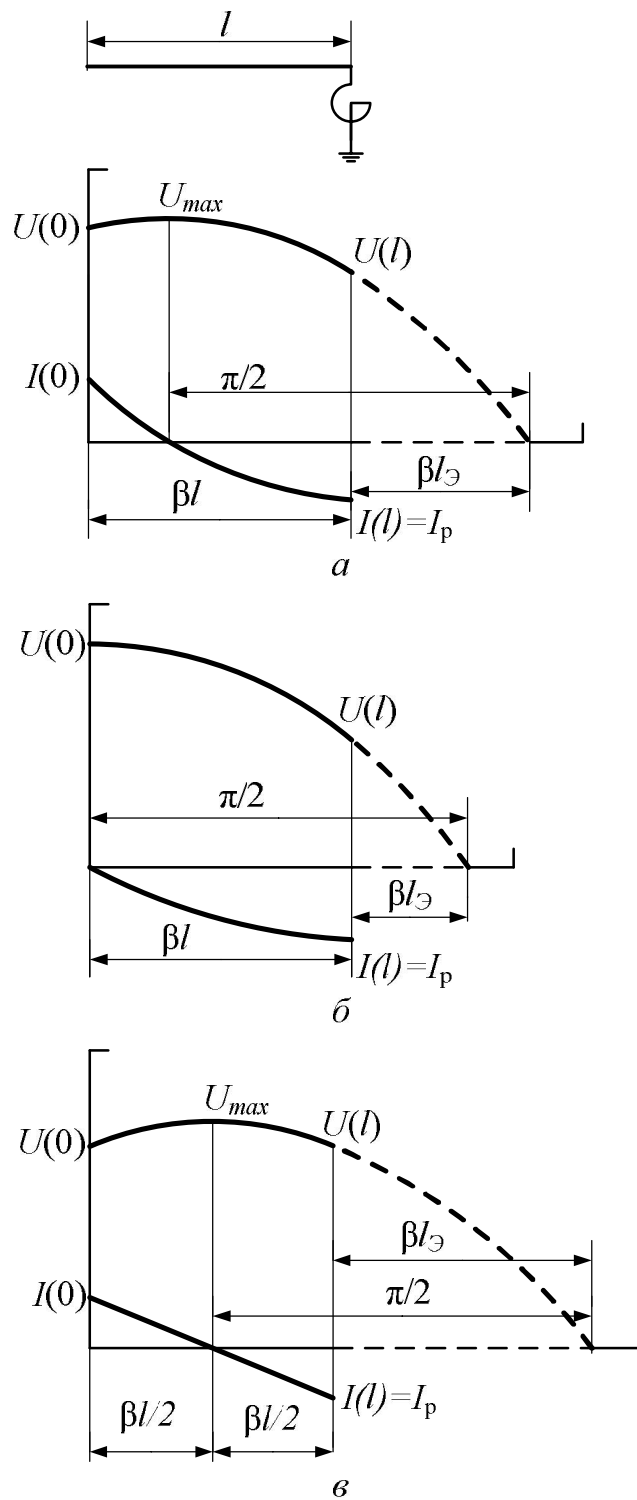


Рис. 4.2. Расчет напряжений в линии с реактором на конце методом эквивалентных длин:

a – общий случай; *б* – полная компенсация емкостного тока в начале линии;
в – равенство напряжений по концам линии

Максимальное напряжение соответствует расстоянию от конца фиктивной линии $\beta(l-x) + \beta l_{\text{Э}} = \pi/2$:

$$U_{\max} = U(0) \frac{1}{\sin(\beta l + \beta l_{\text{Э}})}.$$

Напряжение на реакторе

$$U(l) = U_{\max} \sin \beta l_{\text{Э}} = U(0) \frac{\sin \beta l_{\text{Э}}}{\sin(\beta l + \beta l_{\text{Э}})}.$$

Распределение напряжения вдоль линии с включенным в конце реактором $q_p = \beta l = 1,05$ представлено на рис. 4.1 (кривая 2) и на рис. 4.2,а.

Максимальное напряжение равно 1,18, а напряжение на реакторе 0,8.

На рис. 4.2,а показано также распределение тока вдоль линии. Восходящей части кривой напряжения соответствует протекание емкостного тока вдоль линии, который и вызывает нарастание напряжения; спад напряжения свидетельствует о протекании индуктивного тока. Ток проходит через нуль и изменяет свой знак в точке, где напряжение проходит через максимум.

Рисунок 4.2,б соответствует случаю полной компенсации емкостного тока. Для этого должно соблюдаться условие: $(\beta l + \beta l_{\text{Э}}) = \pi/2$ (так как $Z_{\text{вх.р}} = j \operatorname{tg}(\pi/2) = j\infty$).

Следовательно, $x_p/Z_c = \operatorname{tg} \beta l = \operatorname{tg}(\pi/2 - \beta l) = \operatorname{ctg} \beta l$ и $q_p = Z_c/x_p = \operatorname{tg} \beta l$.

Аналогичный результат можно получить из формулы, приведенной в таблице 4.1.

Напряжение на реакторе равно:

$$U_p = U_{\max} \sin \beta l_{\text{Э}} = U(0) \sin(\pi/2 - \beta l) = U(0) \cos \beta l = 0,5.$$

Из этого примера видно, что добиваться полной компенсации при включении реактора в конце длинной линии нецелесообразно.

На рис. 4.2,в показан случай, когда напряжения в начале и в конце линии равны между собой, а максимум напряжения соответствует середине линии. Видно, что $\beta l_{\text{Э}} = \pi/2 - \beta l/2$, следовательно,

$$x_p/Z_c = \operatorname{tg}(\pi/2 - \beta l/2) = \operatorname{ctg}(\beta l/2).$$

4.3. Реактор в середине линии

Расчет можно проводить по формулам таблицы или методом эквивалентных длин.

Вычисляем входное сопротивление участка разомкнутой линии за реактором:

$$Z_{\text{вх},2} = -jZ_c \operatorname{ctg}(\beta l/2) = -j1,73$$

и складываем его параллельно с сопротивлением реактора $x_p = 0,95$. Результирующему сопротивлению

$$Z_{\text{вх},p2} = \frac{jx_p \left(-jZ_c \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2} \right)}{j \left(x_p - Z_c \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2} \right)} = j2,1 = jx_{\text{вх},p2}$$

соответствует эквивалентная волновая длина

$$\beta l_{\text{Э}} = \operatorname{arctg}(x_{\text{вх},p2}/Z_c) = 1,13 \text{ рад},$$

которую складываем с волновой длиной первого участка, как это показано (в общем виде) на рис 4.3:

$$\beta l_{\text{Э}} + \beta l/2 = 1,65 \text{ рад}.$$

Дальше расчет ведем так же, как при включении реактора в конце линии, т.е. определяем входное сопротивление всей линии $Z_{\text{вх},p} = jZ_c \operatorname{tg} 1,65 = -j12,8$ и напряжение в начале линии $U(0) = 1,03$, а также напряжение на реакторе и напряжение в конце линии

$$U_p = U(l/2) = U(0) \frac{\sin \beta l_{\text{Э}}}{\sin(\frac{\beta l}{2} + \beta l_{\text{Э}})} = 0,94;$$

$$U(l) = \frac{U(l/2)}{\cos(\beta l/2)} = 1,08.$$

Распределение напряжения показано на рис. 4.1 (кривая 3) и на рис.4.3,а. Оно получается более равномерным, чем при установке реактора в конце линии. На рис. 4.3 видно скачкообразное изменение тока в линии за счет подключения реактора.

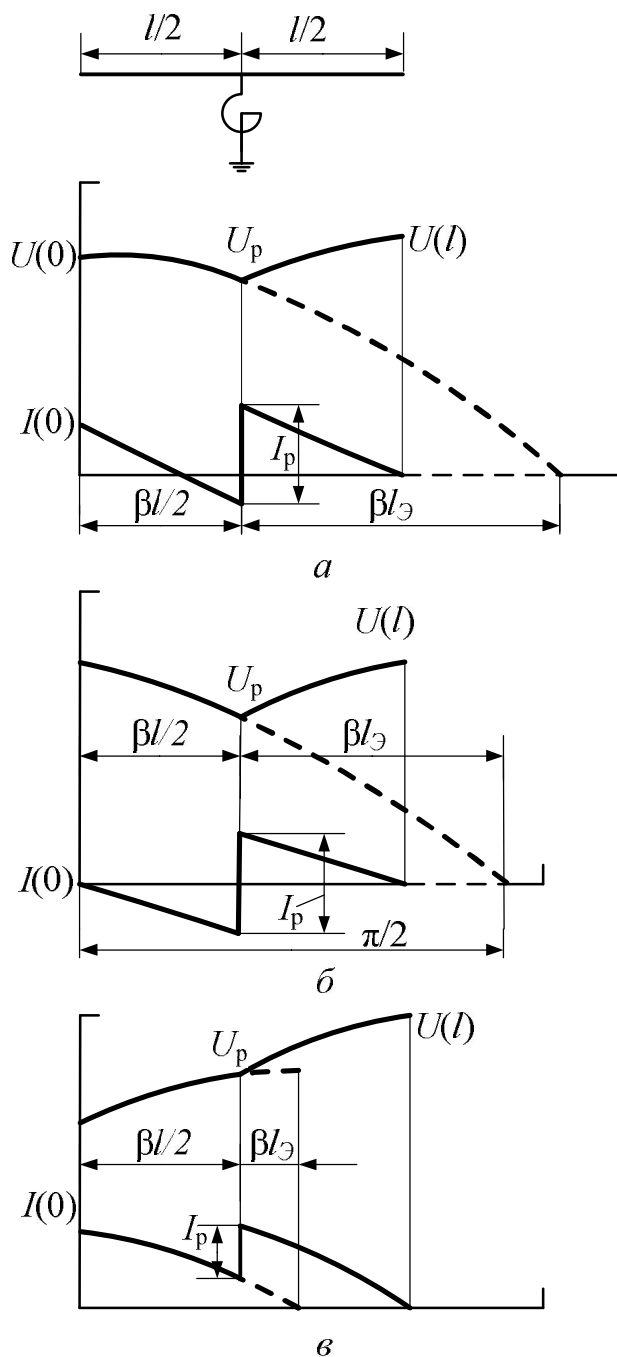


Рис. 4.3. Расчет напряжений в линии с реактором в середине методом эквивалентных длин:

a – перекомпенсация емкостного тока в середине линии; $б$ – полная компенсация емкостного тока в начале линии; $в$ – недокомпенсация емкостного тока в середине линии;

Принятая в расчете мощность реактора 1,05 близка к мощности, которая обеспечивает полную компенсацию емкостного тока в начале линии. Этим объясняется небольшое повышение напряжения вдоль линии. Однако концентрация большой мощности реакторов в одной точке недопустима с точки зрения условий нормального режима.

Условия полной компенсации емкостного тока в начале линии т.е. $Z_{\text{вх.р}} = \infty$, получаются при $q_p = 2\text{tg}(\beta l/2) = 1,16$. Этот случай иллюстрирует рис. 4.3,б. Нетрудно убедиться, что напряжение ни в одной точке линии не превосходит напряжения источника.

4.4 Реакторы включены в нескольких точках линии

Рассмотрим случай, когда в середине линии сосредоточена половина всей мощности реакторов $q_p = 1,05/2 = 0,525$, а по концам по $1/4$ мощности $q_p = 0,263$. Расчет ведется методом эквивалентных длин путем последовательного свертывания схемы. Сначала последний реактор заменяется эквивалентной линией, волновая длина которой $\beta l_{\Sigma,2} = \text{arctg}(x_p/Z_c) = \text{arctg } q_p = \text{arctg } 0,263 = 1,57$ рад добавляется к волновой длине участка линии $\beta l/2 = \pi/6$. Входное сопротивление этого участка с реактором на конце $j Z_c \text{tg}(\pi/6 + 1,57) = -j3,68 = -jx_{\text{вх.2}}$ складывается параллельно с индуктивным сопротивлением реактора в середине линий $x_p/Z_c = 1/q_p = 1/0,525 = 1,9$. Далее расчет ведется так же, как и для случая включения реактора в середине линии, а затем как для случая включения реактора в начале линии. При таком размещении реакторов будет достигнута почти полная компенсация емкостного тока и почти равномерное распределение напряжения вдоль линии (см. рис. 4.1, кривая 4).

Сравнивая различные кривые рис. 4.1, можно сделать вывод, что, устанавливая реакторы в трех точках линии 1000 км, можно удержать напряжение в любых точках линии в пределах 1,05 (если $E = 1$), но установленная мощность реакторов при этом очень велика, около $0,1P_{\text{нат}}$ на 100 км линии.

В электропередачах 500 кВ около $2/3$ установленной мощности реакторов обычно включается в середине линии и около $1/3$ установленной мощности на отправном конце линии, т. е. у шин

системы или станции, причем общая мощность реакторов равна $(0,06...0,08)P_{\text{НАГ}}$ на 100 км линии (такие соотношения выбираются, исходя из режима малых нагрузок). Синхронизацию производят у шин станции, т. е. на том конце линии, где имеется реактор, но при этом возможно повышение напряжения в начале линии, так как емкостный ток не компенсируется полностью. Ограничить напряжение в начале линии можно, используя регуляторы сильного действия, уменьшая возбуждение генератора, устанавливая пониженные коэффициенты трансформации трансформатора.

Рассмотрим напряжения, которые возникают при одностороннем отключении линии у шин приемной системы, т. е. там, где реактор отсутствует. Это означает, что реакторы включены в начале ($q_p = 0,263$) и в середине линии ($q_p = 0,525$). Расчет ведется так же, как для случая установки реактора в середине линии, а затем при определении входного сопротивления линии учитывается реактор в начале. Однако при уменьшении мощности реактора входное сопротивление $Z_{\text{ВХ},p2}$ может оказаться емкостным. Действительно, $Z_{\text{ВХ},2} = -jx_{\text{ВХ},2} = -jZ_c \operatorname{ctg}(\pi/6) = 1,73$; $x_p = 1,9$ и

$$Z_{\text{ВХ},p2} = -j1,73 \cdot 1,9 / (1,9 - 1,73) = -x_{\text{ВХ},p2}.$$

В этом случае участок линии вместе с реактором заменяется эквивалентной разомкнутой, а не короткозамкнутой линией (рис.4.3,в)

$$\beta l_{\text{Э}} = \operatorname{arcctg}(x_{\text{ВХ},p.Э}/Z_c) = \operatorname{arcctg} 19,1 = 0,05 \text{ рад.}$$

Эквивалентная волновая длина всей линии с реакторами равна 0,58. Входное сопротивление линии подсчитывается по формулам для разомкнутой линии:

$$Z_{\text{ВХ},p} = -j Z_c \operatorname{ctg} 0,58 = -j1,54.$$

Вместе с реактором в начале линии ($x_p = 3,8$) это дает:

$$Z_{\text{ВХ},p} = -j1,54 \cdot 3,8 / (3,8 - 1,54) = -j2,6.$$

Напряжение в начале линии оказывается равным

$$U(0) = 2,6 / (2,6 - 0,5) = 1,23.$$

Распределение напряжения в разомкнутой линии подчиняется не

синусоидальному, а косинусоидальному закону

$$U(l/2) = U(0) \frac{\cos \beta l_3}{\cos(\frac{\beta l}{2} + \beta l_3)} = U(0) \frac{\cos 0,05}{\cos 0,58} = 1,19 U(0) = 1,46;$$

$$U(l) = \frac{U(l/2)}{\cos(\beta l/2)} = \frac{1,46}{\cos(\pi/6)} = 1,38 U(0) = 1,69.$$

Кривая распределения напряжения для этого случая представлена на рис. 4.1 (кривая 5). Еще более высокие напряжения могут получаться, если в режиме, предшествующем разрыву передачи, часть реакторов по условиям нормального режима была отключена. Таким образом, выбор установленной мощности реакторов по условиям синхронизации (когда напряжения в отдельных точках линии мало отличаются от единицы) не исключает значительных повышений напряжения при последовательных разрывах передачи.

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. В отчете необходимо привести теоретическую часть, объясняющую роль реакторов поперечной компенсации в ограничении перенапряжений и обеспечении нормального функционирования защитных аппаратов.

5.2. Результаты исследования на ПЭВМ в виде таблиц и графиков в соответствии с приведенными указаниями.

5.3. Заключение о работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных элементов состоит схема замещения дальней передачи (в простейшем случае)?
2. Как связано Волновое сопротивление с индуктивностью и емкостью линии?
3. Как связана волновая длина с индуктивностью и емкостью линии?
4. Чему равны волновые длины и входные сопротивления разомкнутых линий различной длины (500, 750, 1000, 1500, 2000км)?

5. Зависит ли характер входного сопротивления разомкнутой линии (индуктивный, емкостный) от ее длины?
6. Может ли быть входное сопротивление короткозамкнутой линии больше, чем разомкнутой (по абсолютному значению)?
7. При каких условиях входные сопротивления короткозамкнутой и разомкнутой линии равны между собой (по абсолютному значению)?
8. Какой вид имеет распределение напряжения вдоль разомкнутой линии при длине меньше 1500 км, больше 1500 км?
9. Какой вид имеет распределение напряжения вдоль короткозамкнутой линии при длине меньше 1500 км, больше 1500 км?
10. Как меняется напряжение в конце разомкнутой линии, присоединенной к источнику бесконечной мощности в зависимости от длины? Каковы условия резонанса?
11. От каких факторов зависит максимальное напряжение при резонансе в линии, присоединенной к источнику бесконечной мощности?
12. Каковы условия резонанса для линии, присоединенной к источнику с индуктивным сопротивлением x_i ?
13. Определить x_i при резонансе, если длина линии равна: 500, 750, 1000, 1500 км.
14. Нарисуйте распределение напряжения в коронирующей линии длиной 1500 км, присоединенной к источнику бесконечной мощности.
15. Нарисуйте распределение напряжения в короткозамкнутой линии 3000 км, присоединенной к источнику бесконечной мощности: а) без учета короны; б) с учетом короны.
16. Каков порядок значения перенапряжений при резонансе в разомкнутой линии с учетом короны?
17. Может ли корона ограничить перенапряжения до значения, безопасного для изоляции линий 500 кВ и выше?
18. Почему реакторы ограничивают повышения напряжения в длинной линии, разомкнутой на конце?

19. Какова должна быть мощность реакторов для полной компенсации емкостного тока в начале линии при включении реактора в начале, середине и конце линии; нарисуйте кривые распределения напряжения и тока вдоль линии.
20. В схеме источник конечной мощности - линия с одним реактором напряжение в конце линии равно напряжению источника. Что можно сказать относительно степени компенсации емкостного тока при включении реактора в начале, конце и середине линии?
21. Какова минимальная мощность реакторов, необходимая для полной компенсации емкостного тока, и при каком расположении реакторов она достигается? Применяется ли полная компенсация емкостного тока на практике?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базуткин В. В. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах / В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь; под общ. ред. В. П. Ларионова. – 3-е изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 464с. [Гл. 29 стр. 347–358].
2. Техника высоких напряжений /под общ. ред. Д. В. Разевига. – 2-е изд. – Москва: Энергия, 1976. – 488с. [Гл. 20 стр. 372–386].
3. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / М. Бейер, В. Бек, К. Меллер, В. Цаенгль ; пер. с нем. под ред. В.П. Ларионова. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 555с. [Гл. 2, стр. 33–36].
4. Лабораторные работы по технике высоких напряжений: учеб, пособие для вузов / М. А. Аронов и др. – 2-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 352 с. [Гл. 20, стр. 245–252].
5. Гуль В. И. Перенапряжения в электрических системах по курсу «Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах» : конспект лекций. – Харьков: ХПИ, 1991. – 64с. [Разд. 2, стр. 23–37].
6. Координация изоляции и перенапряжения в электрических высоковольтных сетях : учеб. пособ. / Гуль В. И., Нижевский В. И.,

Хоменко И. В. и др.; под ред. проф. Гуля В. И. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 270с.

7. Гуль В.И. Изоляция высоковольтных элементов электрической системы. Заземление : учеб. пособ. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 176с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕАКТОРІВ ПОПЕРЕЧНОЇ
КОМПЕНСАЦІЇ НА ОБМЕЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ
ПЕРЕНАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ДОВГОЮ
НЕНАГРУЖЕНОЮ ЛІНІЄЮ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ»**
з курсу «Пренапруги в електроенергетичних системах»
для студентів напряму підготовки «Енергетика, електротехніка та
електромеханіка», в тому числі для іноземних студентів.

Російською мовою

Укладачі: **НІЖЕВСЬКИЙ Віктор Ільч**
БЕРЕЗКА Сергій Костянтинович
НІЖЕВСЬКИЙ Ілля Вікторович

Відповідальний за випуск **С. Ю. Шевченко**

Роботу до видання рекомендував **А. М. Борисенко**

В авторській редакції

План в 2019 р., поз. 176

Підп. до друку 11.07.2019. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Riso – друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,2. Наклад 50 пр.
Зам. № 846084 . Ціна договірна

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХПІ»
вул. Кирпичова, 2, Харків-2, 61009
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №5428 від 21.08.2017г.

Надруковано у ФЛ-П Черняк Л.О.
61009, м. Харків, вул. Багалія, 16
Свідоцтво №24800000000079553, від 16.05.2007р.